

見やすい照明のための基礎研究(その9)

——見やすさ評価に基づく質的照明設計法に関する検討——

中 根 芳 一

Fundamental Study on Lighting for Better Seeing (Part 9)

——Lighting Design Method Based on Readability Evaluation——

YOSHIKAZU NAKANE

目 的

建築物の設計には、安全でしかも人間生活に適した室内環境を造り出すために、高度に発達した科学と技術が応用されなくてはならない。

このため今日では、建築物によって造り出された空間の質的充実を中心とする設計態度が生れている。空間の質は空間構成の計画及び設備の計画によって決まるものであり、かつて空間だけを提供した建築に対し、有用な空間をつくる建築に発展し、その結果、設備も建築に付帯したものという地位から建築の殻と一体となって質的に充実した空間をつくるものとなってきている。

この空間がもっている質に関連する要素として、光、空気、熱、音などがある。特に空気環境、音環境については、近時環境の悪化が著しいため、一般の関心も高く、法的な規制も加えられつつある。一方、視環境には、その性質上、作業者の健康に重大な影響を与えることも少なく、また、人体の視環境に対する適応力も大きいので、他の環境要素に比べると安易に扱われてきたといえる。即ち、見難ければ使用ランプのワット数を増したり、灯数を増しさえすればよいと考えられがちである。

一方、人間が周囲から受ける情報のうち、視覚に基づくものは80%以上にも達するといわれており¹⁾、また視環境の適否は作業の能率、精度、作業者の快適性、疲労、安全性などに直接関連することからいっても重要な問題であると言える。この視環境を決定する最大の要因が照明である。

従来、照明設計は一般に照度に基づいて行われており、その計算手法の基礎も確立され²⁾、各種の室空間に於て目標となる照度レベルもJISで制定されている。

しかし、照度は、照明を考えるとときの重要な要素の一つではあるけれども、これだけでは照明設計に一步踏みだしたという程度である。照度が等しくても入射する光

の状態や視対象物の状態によって見易くもなり見難くもなる。即ち、照度は光源から出た光が対象となる作業面にどれだけ到達しているかを表わすものであるが、照明が物を見るために行われるものであることを考えると、視対象物から人間の眼までの過程を含めて考える必要がある。しかも視線は視対象物に常に固定されているものではなく、視対象物の周辺にもしばしば移動する。故に視野内全体の視環境を総合的に設計しなければならない。

照明に対する要求には、大別して、“物が詳細に見えること”と“雰囲気快適であること”の2つに分けられ、目的によってこの両者の比重が異なってくるため、視環境の総合評価と後述の中間評価特性との関係に於ても、場所や目的によって、その関係は一樣とはいえない。一般に物が詳細に見えることを主目的とする照明を“明視照明”、部屋の雰囲気を重視する照明を“雰囲気照明”と呼んでいる。室内視環境の雰囲気の評価には、主観的な要素の占める割合が非常に高いため、個人差も著しく、雰囲気照明の設計法の確立には程遠い現状である。

本論文では、室内視環境評価に占める雰囲気の評価を無視するわけではないが、まず、作業のための照明を対象として、視対象物の見易さという観点から質的に高い照明設計法を、筆者が従来進めてきた研究結果に基づいて明らかにする。

視環境設計の最終目的は視環境の快適性と、良好な視機能を保証することにある。またこれは、使用者の総合的な主観評価に基づいて決定されねばならない。だが、この主観評価は設計という作業と直接には結び付きにくい。そこで、設計は主観評価の元になる各種物理量に基づいてなされる必要がある。この関係を図示すれば図1の如く表わされる。中間評価特性とは、総合評価に寄与すると考えられる心理評価特性で、それぞれ視環境の中間物理特性によって規定されるものである。我々が照明設計に於て制御できるのはこの視環境の物理特性であ

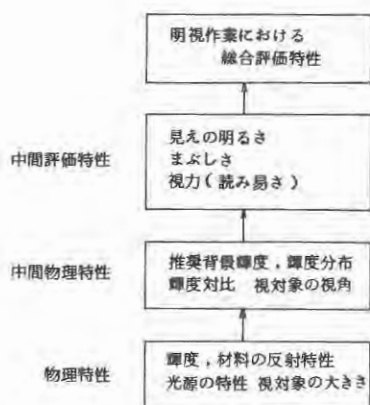


図-1 明視照明設計における評価と物理特性の関係

る。

2. 見易さ評価に基づく明視照明設計の基礎事項

視作業を対象とした照明を、見易さ評価に基づいて設計しようとする場合、見易さの評価は、(i)視対象の対比、(ii)背景(順応)輝度、(iii)視対象の大きさ(視角)、及び(iv)時間(角速度)の関係から導びかれるものである。しかし、一般の読書、事務作業を対象とする明視照明の場合、視対象が瞬時提示されたり移動するわけでないで、「時間」の要素は無視しても差支えないと考えられる。そこで、「視対象の対比」「背景輝度」「視対象の大きさ」の三者の関係と³⁾、それに影響する「視線の方向」「視野内の輝度むら」等の条件から、見易さに基づく明視照明の設計方法を提案する。

本設計法は、視野内の明るさ(輝度)が均一な状態での視認閾値を基準として、他の条件については、その差違を対比の変化、背景輝度の変化として処理する方法である。

見易さ評価に基づく明視照明設計を行う場合の基礎的事項について、以下に順次説明する。

2.1 視作業位置・視線の方向の決定

音、熱、空気等に係わる知覚が、その場所を点として捕えた物理量に対応するのに対して、視覚は方向性が顕著に作用するため、環境を評価する場合視線の方向を考慮しなければならない。

そこで、視作業位置・方向が決まっている場合以外はその部屋の中で最も評価が悪くなり易い位置・方向を視作業位置・視線の方向とみなして照明設計を行えば、一応安全側の設計と考えられる。評価が悪くなり易い位

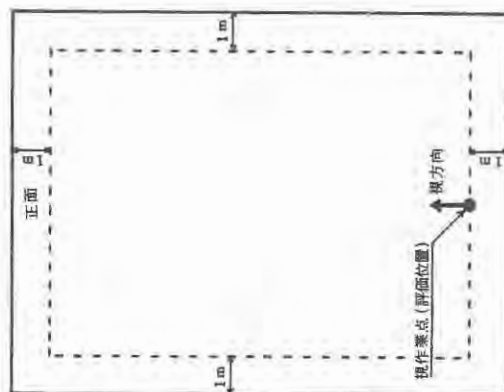


図-2 一般的な見易さ評価位置

置・方向は一般にいて、視線の方向に光源など高輝度なものが多く入り易い部屋最後方位置から前向きの状態といえる。尚、事務室などでは部屋の周囲1mの範囲内は視作業場所として使われることが稀である。机等が壁際に置かれていても実際の視作業に使われる部分は、壁から1m程度は離れた位置である。

故に図-2に示す地点を視方向も含めて、照明評価位置と定める。

2.2 見易さ評価用標準視標及び視対象の大きさ

読書、事務作業に於て、最も視対象物となる頻度の高いものを選定するため、筆者は、一般の印刷物の紙質及び印刷文字の書体、字画数、大きさ等を調査した⁴⁾。

その結果から、一般的な印刷物の代表とみなせるものとして、中質紙に明朝体の8ポイント活字、黒インクで印刷した文章(又は8画の漢字)を選定し、「見易さ評価用標準視標」とした。

この「標準視標」の反射特性を、図-3に示す。視作業時に作業者が視対象物を見るとき視線の傾き角(視作業角 θ_o)は比較的個人差が少なく、最も頻度の高い視作業角(θ_o)は約 30° といわれている⁵⁾ことから、反射角 30° で、光の入射方向を種々変化させて測定した。

各種の活字と等価な視認閾値を持つランドルト視環の大きさの相関⁶⁾(図-4)から、視認閾における背景輝度と対比の関係は図-5に示す標準等視力曲線図上の等価な大きさのランドルト視環の曲線から求められる。明視距離(約35cm)で8ポイント活字で印刷した標準視標の文章を読む場合は、視力0.5のランドルト視環の視認にほぼ相当する。

視作業の対象となるものが決まっている場合は、その作業に於て識別を必要とする細部の寸法から、視認状態がそれと等しいランドルト視環の大きさを求める。また背景輝度、対比も当該視対象の紙質についての反射特性

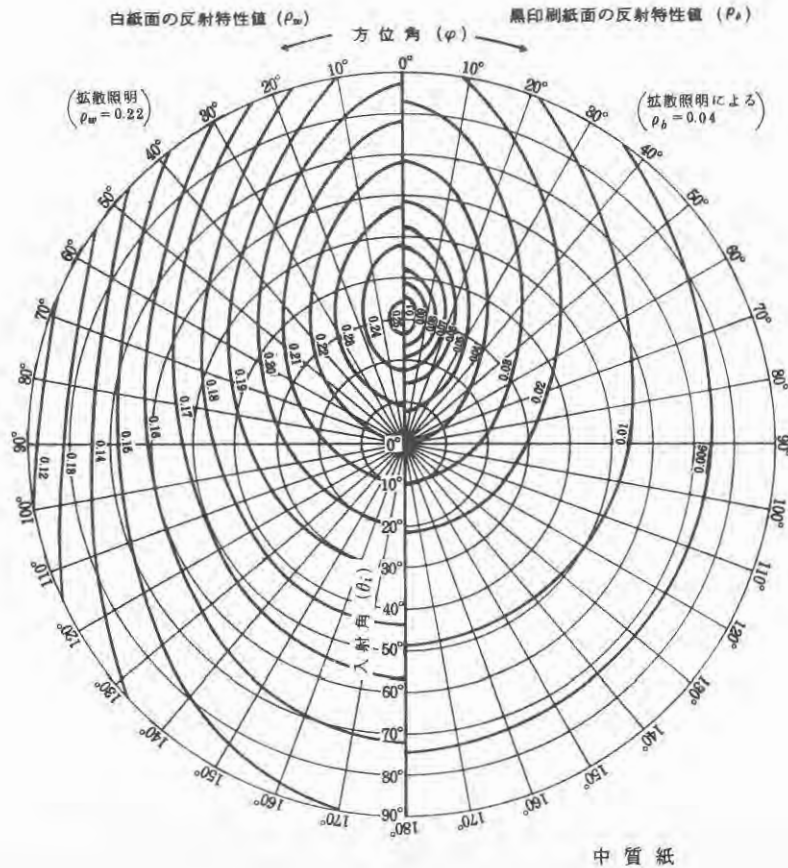


図-3 視作業角(θ_0)が 30° のときの反射特性値
(中質紙の場合)

値図⁶⁾から計算する。

2.3 見かけの輝度及び対比の計算

視対象物を一般的な視作業の対象となる白紙に黒インクで印刷した印刷文字と考えた場合、該当する作業対象紙質の反射特性図を用いて、視方向に対する光源位置の方位角(φ)、入射角(θ_i)から白紙面および黒印刷面の反射特性値(ρ)を読み取る。光源が複数の場合は、各光源の方位角、入射角による反射特性値を読み取る。

当該光源による評価位置での照度を(E)とすると、当該光源による作業対象からの反射光輝度(L)は、

$$L = \rho \cdot E \cdots \cdots (1)$$

光源が多数ある場合は、それぞれの光源による反射光輝度を求め、それを加算して総合した反射光輝度(L)を求める。

$$L = \sum (\rho_i \cdot E_i) \cdots \cdots (2)$$

但し、 ρ_i ：当該する視対象物の光源(i)による反射特性値

E_i ：光源(i)による評価位置での照度

視対象の白紙面の反射特性値が ρ_w 、黒印刷面の値が ρ_b ならば、当該光源で照らされたときの視対象を、 θ_0 が 30° で見たときの対比(C)は、

$$C = \frac{L_b - L_i}{L_b} = \frac{\rho_w \cdot E - \rho_b \cdot E}{\rho_w \cdot E} = \frac{\rho_w - \rho_b}{\rho_w} \cdots \cdots (3)$$

但し、 L_b ：背景輝度（一般に白紙面の輝度）

L_i ：視標の文字部分の輝度（一般に黒印刷面の輝度）

ρ_w ：視対象の白紙部分の反射特性値

ρ_b ：視対象の黒文字部分の反射特性値

で求められる。

光源が多数あるときは、それぞれの光源による反射光輝度を求め、それを加算して対比を計算すればよい。即ち、

$$C = \frac{\sum \rho_{wi} \cdot E_i - \sum \rho_{bi} \cdot E_i}{\sum \rho_{wi} \cdot E_i} \cdots \cdots (4)$$

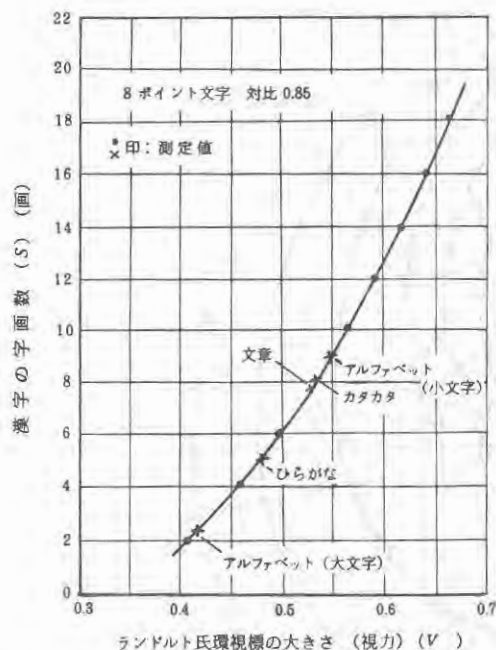


図-4-a 必要背景輝度(閾値)が等しい漢字の字面数及び文章と視標視力の関係

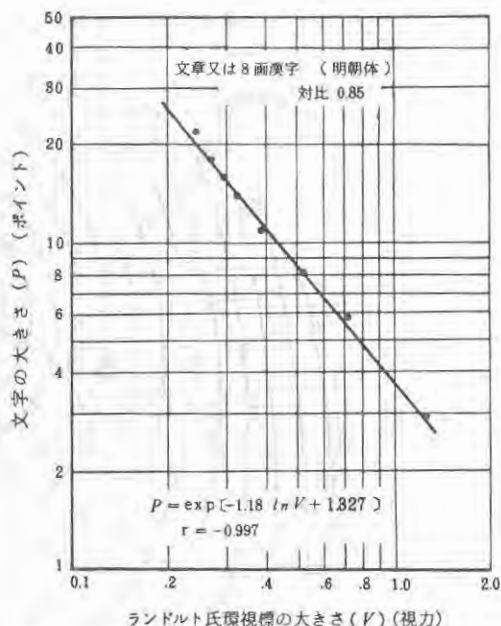


図-4-b 必要背景輝度(閾値)が等しい文字の大きさとランドルト氏環視標の大きさの関係

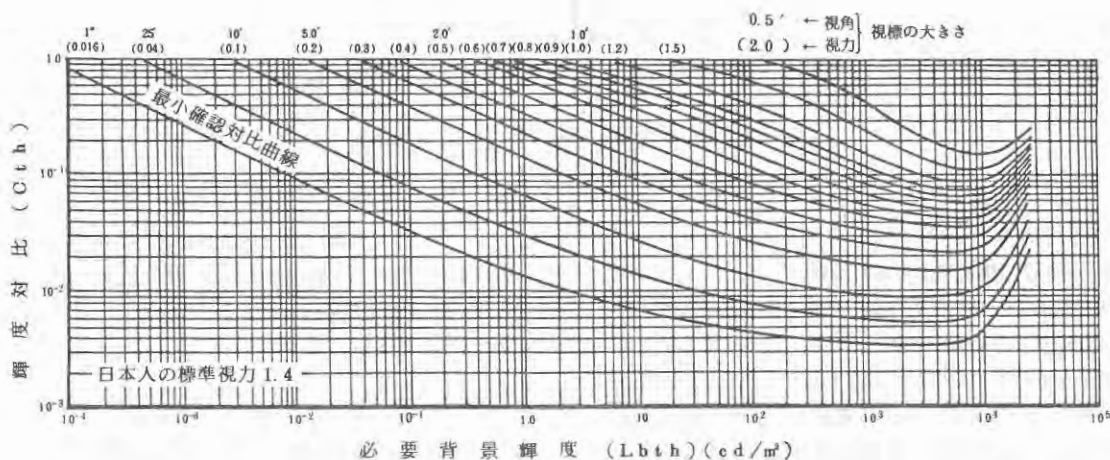


図-5 標準等視力曲線並びに最小確認対比曲線図(暗順応30分)

但し、図示の反射特性値は視角2°の光源で得た値であるので、それより大きな光源については、視角2°の立体角を単位として当該光源を分割し、分割した光源の各部分の位置およびその部分に基づいて求めた反射特性値及び照度から、多数光源の場合と同様にして対比を計算する。

2.4 視野内に光源又は高輝度な映像が存在する場合の処理法

視野内に光源が入る場合は視対象物を見ている視線と光源とがなす角(θ_{gs})および眼の位置からみた光源の輝度(L_{gs})を求め、図-6を用いてグレア光源による等価光幕輝度(L_v)を得る⁷⁾。光源の大きさが視角1°以上ある場合は、当該光源を視角1°の立体角でもって分割し、分割した光源の各部分ごとに等価光幕輝度を求めて、それを加算することにより総合的な等価光幕輝度が得られる⁸⁾。

視野内に高輝度な映像がある場合には、先の光源が視

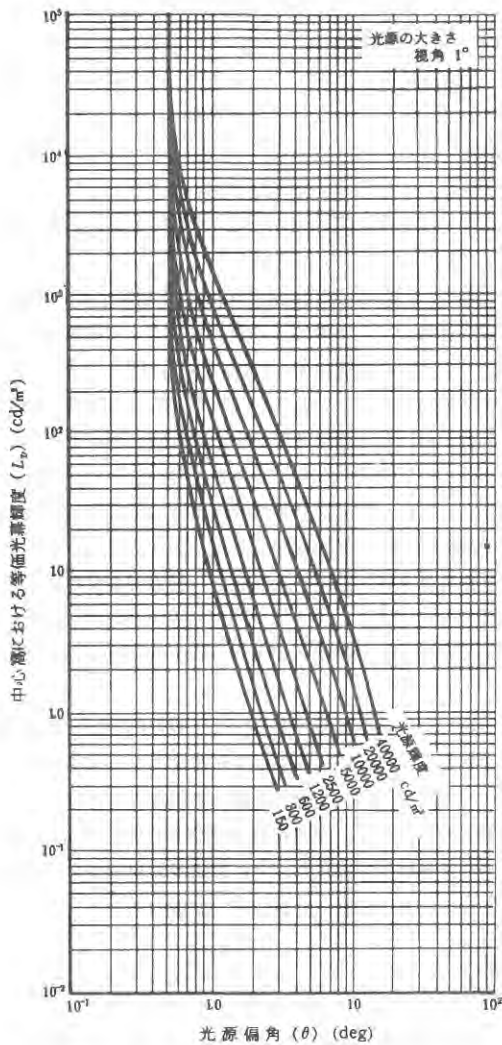


図-6 光源偏角と等価光幕輝度の関係

野内にある場合と同様に、視線と高輝度な映像がなす角を(θ_{gi})とし、高輝度な映像の輝度(L_{gi})は、その映像を生じている元の高輝度源による映像位置での照度を計算して、その照度と当該する面の反射特性値 ρ から求め、得られた(θ_{gi})と(L_{gi})を用いて図-6から等価光幕輝度(L_v)を得る。高輝度な映像の大きさが視角 1° より大きな場合は、光源の場合と同様視角 1° の立体角を基準にして分割して計算する。

このようにして得られた等価光幕輝度(L_v)の値を、(2)式、(4)式における L 、 $\Sigma(\rho_{wi} \cdot E_i)$ 、 $\Sigma(\rho_{bi} \cdot E_i)$ に加算することによって見かけの背景輝度(L_a)および見かけの対比(C_a)を導く。

2.5 視野内の背景に輝度むらがある場合の処理法

視対象付近の中心部背景の輝度に対する周辺部背景の輝度の比、および視対象付近の中心部背景の大きさを調

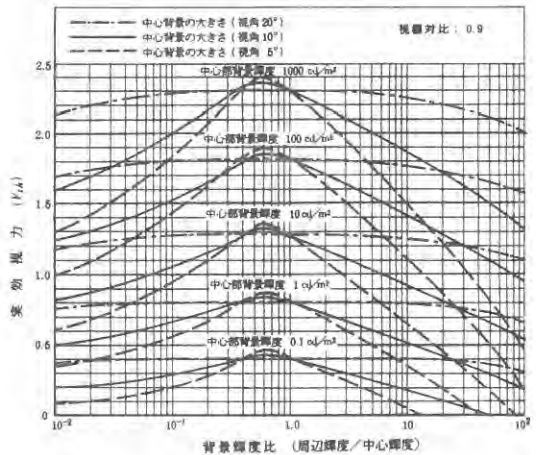


図-7 背景の輝度むらと視力の関係

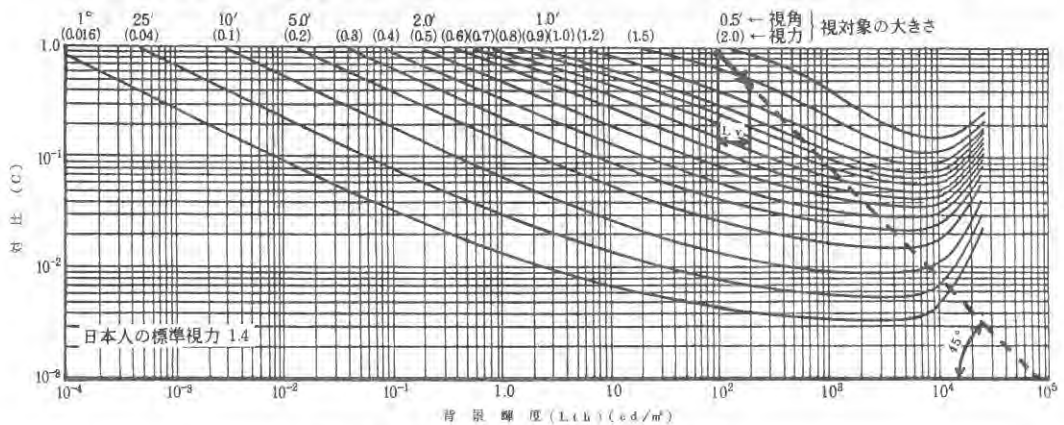


図-8 視野内の背景に輝度むらがある場合の等価光幕輝度の求め方の一例

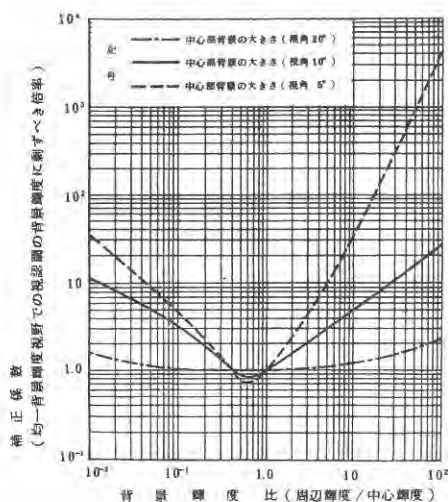


図-9 不均一な背景輝度視野での見易さを評価する場合、均一背景輝度視野における視認閾値の背景輝度に剩すべき補正係数

べ、この結果を図-7⁹⁾に適用して、視野内の背景輝度が均一な状態の時得られる視力と、当該の条件で輝度むらがあるために低下した視力を求める。

例えば、今、中心部背景輝度を100cd/m²とし、中心部背景の大きさが視角10°の範囲とすると、図-7から、100cd/m²の均一な背景のとき1.8の視力があるものが、背景輝度比10の状態では視力1.4に低下することが読みとれる。この結果を図-5の標準等視力曲線に当てはめると図-8

の如く、背景輝度100cd/m²で視力1.8、視対象の対比0.9のものが、周辺部背景からの光幕光によって視力1.4まで下がったと考えられる。即ち、光幕光のために見かけの背景輝度約200cd/m²、視力1.4、視対象物の見かけの対比0.45の状態になったわけである。結局100cd/m²に相当する光幕光が加わったことになる。

この光幕光量を(2)式、(4)式の計算に加えて(C_s)および(L_s)を導びけばよいわけである。

勿論、中心部背景輝度より周辺部背景輝度が低い場合、周辺部背景からの光幕光は背景輝度が均一な場合よりも減少し、そのため視対象の映像の対比は向上する。この点では見易くなるといえるが、視野内の背景輝度に差があるため、眼の順応輝度が中心部背景の輝度とずれることによって見難くなることはさげられない。この両者の兼合いから、周辺部背景の輝度が中心部背景の輝度よりやや低いとき、見易さは少し良くなり、差違が著しいときは見易さは低下する。故に、周辺部背景輝度が中心部背景の輝度よりやや低い場合、周辺部背景に基づく光幕光量の変化を無視しても対比の点では安全側の設計になる。

しかし、見易さ評価に関しては、視野内が均一な背景輝度をもつ場合と同一の視対象が視認できる閾値の背景輝度を視野内が均一な背景の場合の輝度との比率で示した図-9を用いて、均一背景での標準等視力曲線図から求めた背景輝度を補正し、それを実際の視認閾の背景輝度として見易さ評価の計算を行う必要がある。

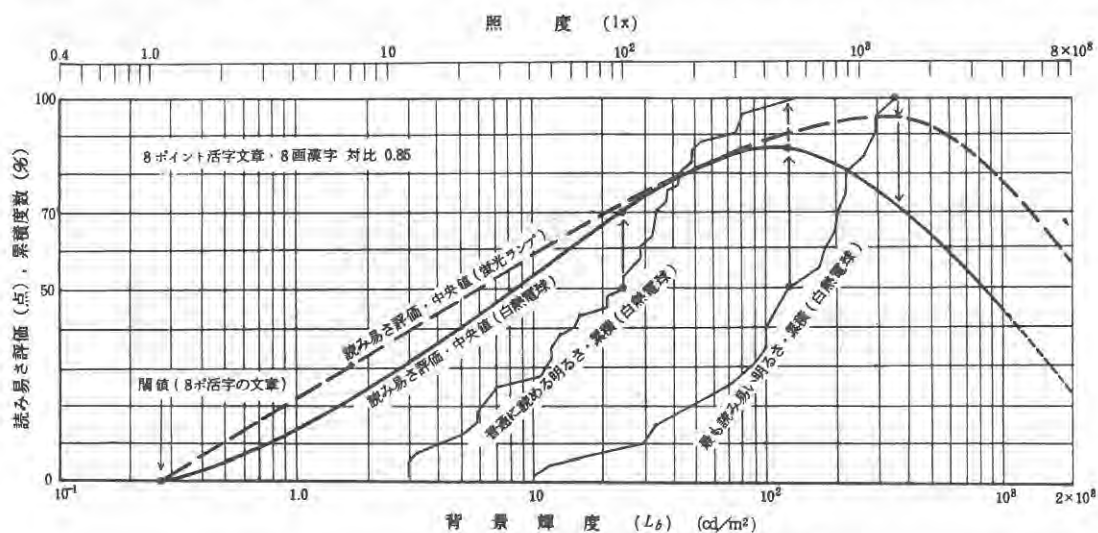


図-10 8ポイント活字で印刷した文章を読む場合の「閾値」「普通の明るさ」および「最適な明るさ」と読み易さ評価および必要背景輝度との関係

2.6 見易さの評価

評価用標準視標を見る場合の背景輝度と読み易さ評価の関係が図-10の如くなることはすでに明らかにした⁴⁾。

しかし照明の経済性も考慮すると、見易さ評価がピークに達する背景輝度以上に背景輝度を高くする必要はない。また見易さ評価がピークに達するまでの背景輝度範囲では、白熱灯照明と蛍光灯照明で見易さ評価に著しい差違はない。

また、或る背景輝度の状態での視対象物の見易さ評価は、その視対象物の大きさや対比によって異なるが、その視対象物が視認できる閾値の背景輝度を基準として背景輝度の倍率をとると、同じ背景輝度倍率(M)のもとでは見易さ評価(VI)もほぼ同じと考えられる。

そこで、見易さ評価がピークに達するまでの範囲で視認閾の背景輝度を基準として、現存する背景輝度が閾値の背景輝度に対して持つ倍率と見易さ評価の間の回帰式(5)式で、見易さ評価点が求められることも明らかにした¹⁰⁾。

$$VI = 15 \ln M \cdots \cdots (5)$$

但し、VI：見易さ評価点

M：視認閾値の背景輝度を基準とした背景輝度の倍率

(5)式で見易さの評価点を求めると、蛍光灯照明、白熱灯照明の場合とも、5点以内の誤差で評価点が得られ、評価の良否のボーダーライン（普通に読める明るさ）の辺りでは(5)式から計算した値の方が実際の評価よりもやや低い値となり安全側の設計ができる。この場合には蛍光灯照明、白熱灯照明を分ける必要がなく、評価手段も単純化できるので、本論文では(5)式を適用して評価を進める。

視対象の大きさ（ランドルト視環の視力）と見かけの対比(Ca)の値を標準等視力曲線（図-5）に適用することによってその視対象に対する背景輝度の視認閾値(Lath)が求められる。図-11の例に示す如く(Lath)は対比(Ca)の線と視力(V)の曲線の交点位置の背景輝度に当たっている。この(Lath)に対する見かけの背景輝度(La)の倍率(M)を(5)式に代入すると見易さの評価点(VI)が得られる。この評価点が設計の目標とする見易さ評価点(VIm)と一致しない場合には、全照明ランプの明るさを一斉に同じ割合だけ増減して、見かけの背景輝度(La)を、評価点(VIm)が得られる背景輝度(Lam)まで持って行けば設計は完了する。

図-11は、8ポイント活字で印刷した文章を読む場合で、この視対象の大きさは視力0.5のランドルト視環の視認にほぼ相当し、今、計算で求めたこの視対象の見かけの対比(Ca)が、 $Ca = 0.5$ 、見かけの背景輝度(La)が $La = 60 \text{ cd/m}^2$ となった状態の例である。 $Ca = 0.5$ と $V = 0.5$ の交点を見ると、 $Lath = 0.95 \text{ cd/m}^2$ が得られ、背景輝度倍率(M)は $M = La / Lath = 60 / 0.95 = 63$ となる。よってこの状態の見易さ評価(VI)は $VI = 15 \ln 63 = 62$ （点）となりあまり見易い状態ではないことがわかる。これを少なくとも普通に読める状態($VI = 70$)にするには、背景輝度倍率(M)は $M = 106$ でなければならず、故に見かけの背景輝度(La)は視認閾値の背景輝度(Lath) 0.95 cd/m^2 の106倍、即ち $La = Lath \times M = 0.95 \times 106 = 100 \text{ cd/m}^2$ にしなければならない。仮定した状態の見かけの背景輝度(La)は 60 cd/m^2 であるから、配光特性等はそのままで各灯器の輝度を約1.7倍($100 \text{ cd/m}^2 / 60 \text{ cd/m}^2$)に高めればよい。

各灯器の輝度を配光特性等はそのままで、所定の明る

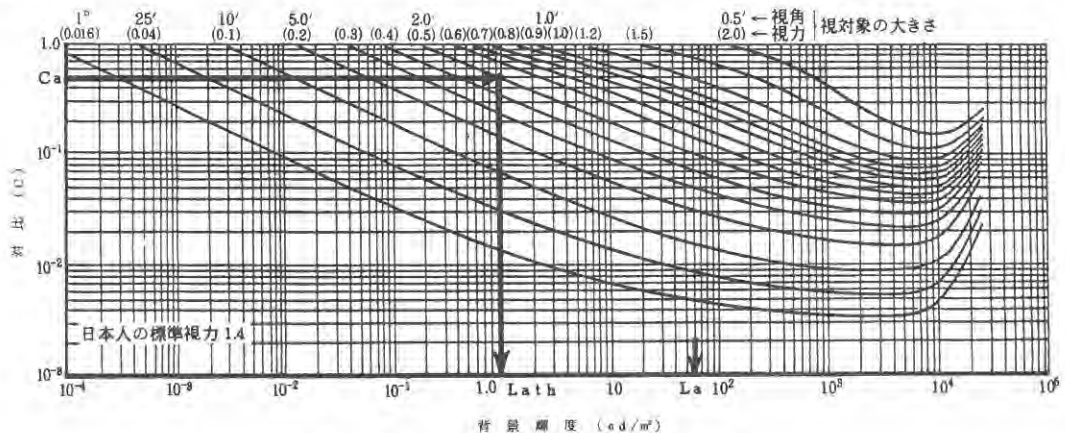


図-11 見易さ評価を行うための視認閾値となる背景輝度を求めた一例($Ca = 0.5$ 、視力 $V = 0.5$ の例)

さまで増減するには、調光装置を用いれば一番簡単である。一般的には、ルーバーや乳白拡散板の付いた器具の場合、内部に設置されたランプの本数を増減すれば、ほぼ目的を達する。しかし、ランプが直接見える器具の場合、配光特性や光源の大きさ（視角）、位置をそのまま、明るさを増減するのは、特に蛍光灯の場合困難である。その場合、近似的には、発光面の大きさ、位置が初めの状態とあまり変わらないようランプを近接させた状態を増減すればよい。もしその程度で調整が付かないときには、初めから設計をやり直すことになる。

3. 照明設計の実例

現在日本で消費されている電力量の約 $\frac{1}{2}$ が照明によるものであり、特に一般の家庭やオフィスビル、学校では照明による冷房負荷などの間接的なものを含めて照明について消費される電力量は、家庭やオフィスビル、学校での全消費電力量の約 $\frac{1}{2}$ にもなるといわれている¹¹⁾。省エネルギーが問題となっている現在、照明に消費する電力量を減らす事がその1つの対策として行われている。この、照明に消費する電力量を減らすために照明灯の数を減らすという事が一般に行われているが、これでは照明の量と共に質も落してしまうことになっており、本来の省エネルギーとは言えない。本来の省エネルギーとは少なくとも質はそのまま、エネルギーの消費量だけを減らすというものでなければならない。例えば、事務所建築では一般に全般照明のみを用いているが、全般照明の数を減らし局部照明を併用して各作業面での明るさを補ってやれば、質を落さずに消費電力量を減らすことができるはずである。

そこで、一般の事務所の照明設計を全般照明のみを用いた場合と、全般照明と局部照明を併用した場合について行い、それぞれの消費電力量を冷房負荷も加えて算出し、それぞれを比較してみる。

質的な照明設計は、本来輝度を基準として行うべきであるが、従来の照明設計に用いられていた光束法による結果と比較するため、第1段階では一応作業面照度に目標値を設定し、同じ照度であってもできるだけ質的に高いものが得られるよう、考慮して設計を進める。そして、得られた結果について、後で、輝度を基準とする見易さ評価法で評価検討することにした。

3.1 最も一般に行われている光束法に基づく照明設計法

(全般照明)²⁾¹²⁾

まず全般照明のみを用いた設計の手順を示す。

(1)対象とする部屋

図-12のような片側採光の小事務室で、窓は透明ガラ

ス入り、汚染を考慮した室内表面仕上反射率は天井70%、壁（窓面を含む）50%、床15%である。床面積は58.4m²である。

(2)作業面の基準照度（E）

室の用途は事務室であるので JIS の照度基準より一応「事務室 b」の500lx をとるが、昼光の影響があるので、できるだけ「事務室 a」の1000lx レベルに近づける。つまり少なくともその下限である700lx ぐらいにする。

(3)光源・照明器具の選定

光源は昼光の影響を考慮し、これとマッチする光色のものとして、蛍光ランプ白色とする。照明器具はグレアの少ない埋込形（下面プリズムパネル）2灯式（表-1）とする。

光束法での計算過程は省略するが、視作業面から光源までの高さ（H）を2.05m とすると結果は図-12に示す如く必要ランプ数40本、照明器具20台で、この時の照度は695lx である。これは照度基準「事務室 a」の照度範囲の下限700lx をほぼ満足している。

3.2 照明の質及び省エネルギーを考慮した照明設計法 (全般照明+局部照明)

次に全般照明と局部照明を併用した設計手順を示す。

(1)対象とする部屋

全般照明のみの場合に用いたのと同じ小事務室を用いる。室内表面仕上反射率は天井70%、壁（窓面を含む）50%、床15%で、床面積は58.4m²と、いずれも3.1 節と同

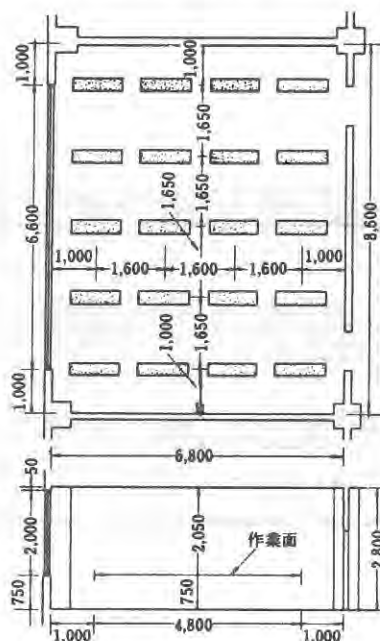


図-12 片側採光の小事務室

表-1 照 明 率 表

照 明 器 具	配 光 曲 線 [※] (ランプ光束 1,000 lm)	保 守 率 [※] 器具間隔 最大 限	反 射 率 [※] 室 指 数	天 井												日 乙 分 類 器 具 効 率 下 向 光 束 比 等 価 照 光 面 積 (cm ²)	
				80%			70%			50%			30%				0%
				壁 50	30	10	壁 50	30	10	壁 50	30	10	壁 20	10	0		
				床 [※] 10%	10%			10%			10%			0			
					照 明 率												
埋込形（下面プリズムパネル） 		保守率 [※] 良 .70 普 通.65 不 良.55 器具間隔 最大 限 1.25H	0.6 (J)	.32	.29	.26	.32	.29	.26	.32	.28	.26	.28	.26	.25	BZ3	
			0.8 (I)	.39	.35	.32	.38	.35	.32	.38	.34	.32	.34	.32	.31	器具効率 60% 下向光束比100% 等価照光面積 =下方投影面積 ×1	
			1.0 (H)	.42	.39	.36	.42	.38	.36	.41	.38	.35	.38	.35	.34		
			1.25(G)	.46	.42	.39	.46	.42	.40	.45	.41	.39	.41	.39	.38		
			1.5 (F)	.48	.45	.42	.48	.45	.42	.47	.44	.42	.43	.41	.40		
			2.0 (E)	.52	.49	.47	.52	.49	.47	.50	.48	.46	.47	.46	.44		
			2.5 (D)	.55	.52	.50	.55	.52	.50	.53	.51	.49	.50	.49	.47		
			3.0 (C)	.56	.54	.52	.56	.54	.52	.55	.53	.52	.52	.51	.49		
			4.0 (B)	.58	.56	.55	.58	.56	.55	.56	.55	.54	.54	.53	.52		
			5.0 (A)	.59	.58	.56	.59	.58	.56	.58	.56	.55	.55	.55	.53		

に条件である。

(2)作業面の基準照度

全般照明のみの場合と同じく、約700lxぐらいにする。尚、輝度むらによる実効視力の低下を防ぐために図-7を参照して、作業面の照度とその周辺の照度との比を3:1以内に作る。そこで、全般照明だけで作業面高さの照度が約250lx以上になるように設計し、全般照明で得られた作業面高さの照度と作業面の目標照度（700lx）との差を局部照明で確保する。

(3)光源、照明器具の選定

光源には白色蛍光ランプを用い、照明器具には埋込形（下面プリズムパネル）1灯式を用いる。1灯式も2灯式と配光特性、照明率その他特性が等しいので、この灯具の特性には表-1の2灯式のものを用いる。

(4)器具の間隔と配置

壁ぎわは使わないとして、照度むらが著しくならないように器具は1灯用で配置すれば、図-13のとおりとなりランプ数は16本で、この時の作業面高さでの照度は約278lxとなり700lxの $\frac{1}{3}$ 以上であることを満足している。

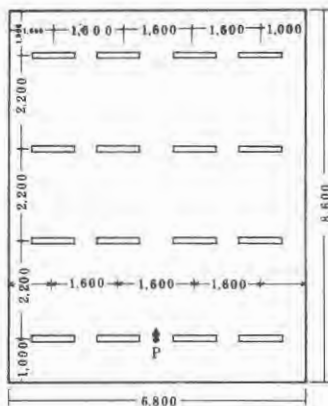


図-13 局部照明を併用したときの全般照明の器具配置

次に、局部照明を用いて作業面照度を所要の高さ約700lxぐらいにまで上げる。

事務室内の机の数は一般事務室の設計標準値を用いて面積5m²あたり1人として、12人分必要となる。

局部照明には器具から1.0m離れた位置での鉛直面照度が695lxでビーム角50°の蛍光スポットライト(22W)を用い、各作業面より0.95m（従って床から1.7m）の高さでまた、前報¹³⁾及び図-3の結果から、視対象物の対比が大きく、見易さ評価及び視作業性も高い光源位置である光の入射角が20°、方位角が前方左60°となる位置に天井から吊り下げるものとする。

この光源位置での局部照明のみによる作業面照度を求める。（但し、保守率0.7として計算する）

$$[695 / (\frac{0.95}{\cos 20^\circ})^2] \times \cos 20^\circ \times 0.7 = 420 \text{ lx}$$

全般照明と局部照明を併用した時の作業面照度は、

$$420 + 278 = 698 \text{ lx}$$

となり、全般照明のみの場合(695lx)とほぼ同じ明るさが得られる。

尚、この時698lx/3=233lx<278lxで、作業面と周辺の輝度比が3:1以下となり、視野内に輝度むらがあっても実効視力は低下しない。

また、局部照明が作業面の高さを均一に照らす範囲はビーム角が50°であるから、

$$\frac{0.95}{\cos 20^\circ} \text{ m} \times \tan 25^\circ \times 2 = 0.94 \text{ m}$$

従って、直径0.94mの円内をほぼ均一に照らしている。

0.94mの範囲は、視距離35cmの視角に直すと、

$$2 \times \tan^{-1}(0.47/0.35) \approx 107^\circ$$

となり、視角107°内の照度がほぼ均一なので、背景輝度むらの影響を受けるのは視角40°の範囲であるという結果⁹⁾から、たとえ局部照明併用部分と全般照明のみの部分とに明るさのむらがあっても、その影響を受けないといえる。

以上から、局部照明は鏡面反射や対比の低下をさけた見易さ評価の良い位置にあるので、光の方向性を含めると、作業面照度は同じであっても局部照明を併用している方がより見易くなっている（質が良くなっている）と考えられる。

3.3 照明用消費電力の計算

次に、照明ランプと照明ランプの発熱による冷房負荷を含めた消費電力量を計算する。

照明のみによる消費電力（直接照明のために消費される電力量）は、全般照明のみの場合1600W、全般照明と局部照明を併用した場合は904Wとなる。

この照明による発熱量を求めると、電力1KWあたりの発熱量は860kcal/hであるから、全般照明のみの場合1376kcal/h、全般照明と局部照明を併用した場合は777.44kcal/hを得る。

この照明による発熱量を除去するのに要する冷房用の消費電力は、一般的な冷房機では1whあたり約2kcalの冷房能力があるから、全般照明のみの場合688W、全般照明と局部照明を併用した場合389Wが必要になる。

結局、直接照明のために消費される電力と照明に伴う熱を冷却するのに必要な電力を加算すると、冷房期の消費電力は全般照明のみの場合2288W、全般照明と局部照明を併用した場合は1293Wとなる。

冷房期の1日の消費電力量は1日の点灯時間を8時間とすると、全般照明のみの場合18.3kwh/day、全般照明と局部照明を併用した場合は10.344kwh/dayとなる。

従って、この事務室の冷房期の1日あたりの消費電力量は全般照明と局部照明を併用した場合、全般照明のみの場合の0.565倍となり、約1/2に電力量が削減できる。また、照明器具自体のコストも局部照明を併用した方が低くなる。

以上のように局部照明を適正な位置に置き全般照明と併用すれば、照明の質を少なくとも同等に保ちながら消費電力量を減らすことができ、省エネルギーの1つの対策として有効であるといえる。

3.4 見易さ評価の予測計算

次に、前節で照明設計した事務室の見易さ評価を、評価が最も低くなり易いと考えられる視作業点P（図-14に示す）について行う。

(1)全般照明の間接照度（Er）及びそれに基づく視対象物の輝度の計算

全般照明のみの場合は図-12に示すように天井に40W蛍光ランプ使用の2灯式器具を20台設置している。

器具から下方への初光束（F1）は近似的に器具からの下方光束をとる（安全側になる）と46800lm、上向初光束



図-14 見易さ評価位置(P)

(F2) は0lmとなる。

作業面面積（床面積） $A=58.4\text{m}^2$

作業面より下方の室表面積 $S_1=81.5\text{m}^2$

作業面より上方の室表面積 $S_2=121.5\text{m}^2$

作業面より下方の室表面の平均反射率 $\rho_{m1}=0.25$

作業面より上方の室表面の平均反射率 $\rho_{m2}=0.60$

とし、作業面高さでの作業面より下方のみかけの反射率を ρ_1 、作業面高さでの作業面より上方のみかけの反射率を ρ_2 とすると、

$$\rho_1 = \frac{A\rho_{m1}}{S_1 - (S_1 - A)\rho_{m1}} = 0.193 \cdots \cdots (6)$$

$$\rho_2 = \frac{A\rho_{m2}}{S_2 - (S_2 - A)\rho_{m2}} = 0.419 \cdots \cdots (7)$$

以上から間接照度（Er）を求めると、

$$\begin{aligned} Er &= \frac{(F_1\rho_1 + F_2)\rho_2}{A(1 - \rho_1\rho_2)} = \frac{46800 \times 0.193 \times 0.419}{58.4(1 - 0.193 \times 0.419)} \\ &= 70.5 \div 70\text{lx} \cdots \cdots (8) \end{aligned}$$

視作業角（ Θ_0 ） 30° 方向の中質紙（拡散照明下での対比が0.84）の半球面拡散光源（輝度が均一な拡散光源で視対象物を完全におおった場合）による照明のもとでの反射特性値は、図-3より

白紙面 $\rho_w=0.22$

黒色印刷紙面 $\rho_b=0.04$

従って、間接照明による白紙面の輝度（ L_{rw} ）、黒色印刷紙面の輝度（ L_{rb} ）は、

$$L_{rw} = 0.22 \times 70 = 15.4\text{cd/m}^2$$

$$L_{rb} = 0.04 \times 70 = 2.8\text{cd/m}^2$$

となる。

局部照明を併用した場合の全般照明には図-13に示すように、天井に40W蛍光ランプを使用した1灯式器具を16台設置している。

器具から下方への初光束（F1）を求め、それに基づい

て間接照度(E_r)を求めると、作業面積、室表面等条件が全般照明のみの場合と等しいから約28lxとなる。

視作業角 30° 方向の中質紙の半球面拡散光源による反射特性値は $\rho_w=0.22$, $\rho_b=0.04$

従って間接照明による輝度は、

$$L_{rw}=0.22 \times 28=6.2 \text{cd/m}^2$$

$$L_{rb}=0.04 \times 28=1.1 \text{cd/m}^2$$

となる。

(2)全般照明に基づく視作業点(評価位置)での直接照度(E_d)及びそれに基づく視対象物の輝度の計算

全般照明のみの場合、視作業点(P)に対する各灯具(2灯式の灯具を20台設置)からのそれぞれの直接距離(l_i)、及び光の方位角(φ_{ii})、入射角(θ_{ii})を図-15に示す。次にこの(φ_{ii})、(θ_{ii})における光度(I_i)を表-1中の配光曲線図から求める。それに基づいて、それぞれの灯具からの光による視作業点での照度(E_i)は逐点法¹²⁾で求めると、

$$E_i = \frac{I_i}{l_i^2} \cos \theta_{ii} \dots \dots \dots (9)$$

で得られる。

P点に関して計算した各灯具に基づく(I_i)及び(E_i)の値を図-15の各灯具位置に示した。視作業点(P)の照度(E)は各灯具からの光による照度(E_i)を総合すればよい。従って、全般照明によるP点の直接照度(E_d)は、 $E_d = \sum E_i = 636 \text{lx}$ となる。故に逐点法で計算したP点の照度(E)は、 $E = E_d + E_r = 636 + 70 = 706 \text{lx}$ になる。

また、視対象物の輝度は図-3の反射特性値図から各灯具の φ_{ii} 、 θ_{ii} における白紙面及び黒色印刷紙面の反射特性値(ρ_{wi} 、 ρ_{bi})を読みとり、これにそれぞれの灯具に基づく視作業点の照度(E_i)を乗じて求める。この計算結果も図-15中に示す。

更に白紙面及び黒印刷紙面の各光源に基づく輝度をそれぞれについて合計した値に基づいて、この照明下での視対象物の輝度対比(C)が得られる。

同様に局部照明を併用する場合の全般照明分による直接照度及び視対象物の輝度を計算した結果を図-16に示す。この全般照明分の照度(E_r)は、 $E_r = E_d + E_r = 254 + 28 = 282 \text{lx}$ である。

(3)全般照明のみの場合と局部照明を併用した場合の輝度対比の計算

全般照明のみの場合、まず前項で求めた各灯具に基づく視対象物の輝度を、白紙面、黒色印刷紙面ごとに総計して、全灯具の直接光による視対象面の輝度を求めると、白紙面の直接光輝度(L_{dw})は 134cd/m^2 、黒色印刷紙面の直接光輝度(L_{db})は 18.6cd/m^2 となる。また、間接光に

よる白紙面及び黒色印刷紙面の輝度は前述の通り、 L_{rw} は 15.4cd/m^2 、 L_{rb} は 2.8cd/m^2 である。以上から、全般照明による視対象面の輝度は、それぞれについて加算して $L_w = 134 + 15.4 = 149.4 \text{cd/m}^2$ 、 $L_b = 18.6 + 2.8 = 21.4 \text{cd/m}^2$ となる。従って輝度対比(C)は、

$$C = \frac{L_w - L_b}{L_w} = \frac{149.4 - 21.4}{149.4} = 0.86$$

となる。

局部照明を併用した場合は、まず全般照明分の直接光による視対象物の輝度を、先の全般照明のみの場合と同様に求めると、 L_{aw} は 52cd/m^2 、 L_{ab} は 6.8cd/m^2 となり、またこの全般照明に基づく間接光による視対象物の輝度は、 L_{rw} が 6.2cd/m^2 、 L_{rb} が 1.1cd/m^2 となる。従って、全般照明分による視対象物の輝度は $L_w = 52 + 6.2 = 58.2 \text{cd/m}^2$ 、 $L_b = 6.8 + 1.1 = 7.9 \text{cd/m}^2$ となる。

次に局部照明による視作業点での視対象物の視方向への輝度を求める。視作業点から0.95m上部で、方位角が正面から左方 60° 、作業点への光の入射角が 20° になる位置に蛍光灯のスポットライト(22W)が取り付けられていると、局部照明による作業点照度(E_s)は 420lx になる。局部照明による視対象物(中質紙)の $\theta_o = 30^\circ$ 方向の反射特性値は図-3から、 $\rho_w = 0.218$ 、 $\rho_b = 0.037$ であるから視方向($\theta_o = 30^\circ$)への輝度は、それぞれ $L_{ws} = 92 \text{cd/m}^2$ 、 $L_{bs} = 15.5 \text{cd/m}^2$ となる。従って局部照明を併用した場合の視対象物の総合した輝度は、白紙面の輝度(L_w)が 150cd/m^2 、黒色印刷紙面の輝度(L_b)が 24.8cd/m^2 となり、このときの見かけの対比(C)は0.85となる。

(4)見易さ評価の予測計算

以上の結果から、全般照明のみを用いた場合と、局部照明を併用した場合の各照明状態において「見易さ評価用標準視標」(中質紙に印刷した視力0.5のランドルト視環：8ボ明朝体活字で中質紙に黒インクで印刷した文章に相当)を見る場合の見易さ評価の予測計算を行う。

全般照明のみの場合、対比が0.86で視力0.5のランドルト視環を視認できる閾値の背景輝度(L_{bth})は、図-5から 0.25cd/m^2 であることがわかる。次にこの視認閾値(L_{bth})に対する全般照明による視対象の背景照度(L_w)の輝度倍率(M)が求められ、(5)式からこの全般照明環境の見易さ評価(VI)は、

$$VI = 15 \ln M = 15 \ln (L_w / L_{bth}) = 15 \ln 598 \approx 96 \text{(点)}$$

であることがわかる。

局部照明を併用した場合は、対比が0.85で視力0.5のランドルト視環を視認できる閾値の背景輝度を図-5で見ると、同じく約 0.25cd/m^2 であることがわかる。従ってこの照明環境の見易さ評価(VI)は、

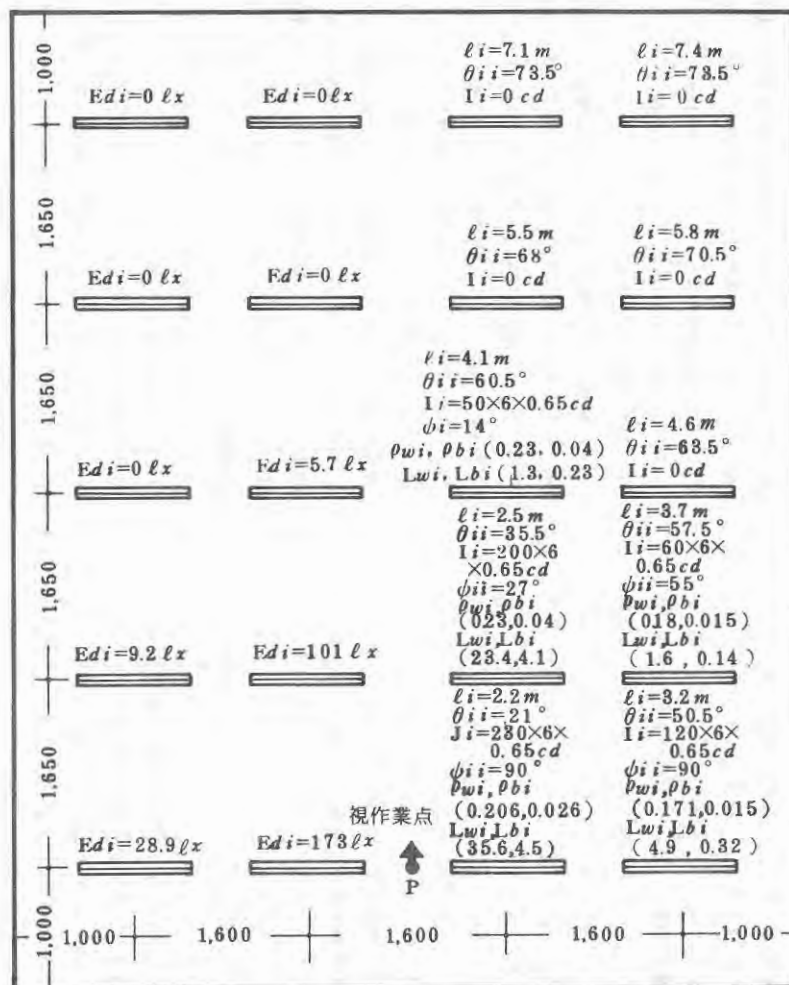


図-15 全般照明(40W蛍光灯)の逐点法によるP点での照度への各灯具の寄与についての計算結果(2灯式20台)

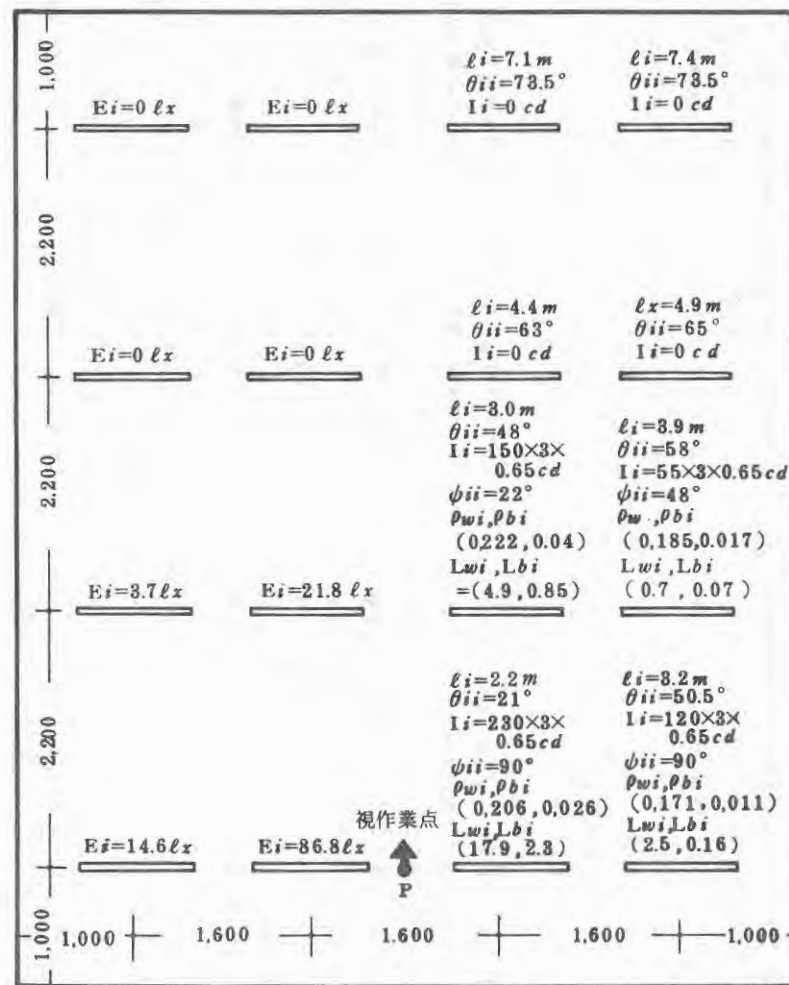


図-16 全般照明(40W蛍光灯)の逐点法によるP点での照度への各灯具の寄与についての計算結果(1灯式16台)

$$VI = 15 \ln M = 15 \ln 600 = 96 \text{ (点)}$$

となる。

以上から、今回照明設計を試みた部屋の照明環境は、全般照明のみの場合も、局部照明を併用した場合も、見易さ評価点はいずれも96点前後となり、ほぼ同等の見易さが得られる状態であると考えられる。また、この評価点はほぼ完全拡散の照明のもとで、被験者が最も見易い明るさに調光したときの見易さ評価値を100点とし、普通に読める明るさを70点、視認閾値を0点という評価スケールで表わしたものであるから、どちらの場合もかなり見易い（質が高い）状態であると言える。

従って、局部照明を併用すれば、全般照明のみの場合の質を落さずに消費電力量を約 $\frac{1}{2}$ に削減でき、省エネルギー対策として有効であることも実証された。

3. 結 論

筆者が従来行ってきた“明視照明のための基礎研究”に基づいて、作業のための照明を対象として、視対象物の見易さという観点から、質的に高い照明環境を設計する方法を検討した。

その結果、次のような手順で質的な明視照明設計を行えることが明らかになった。

- (1) 視認に関係する視対象物の大きさ、輝度対比、背景輝度の三者の閾状態における相互関係を示す標準等視力曲線図を基礎とする。
- (2) 背景輝度が均一でない場合、背景輝度を増減して、均一な背景輝度のもとにおける場合と同等な見易さを確得する。
- (3) 高輝度光源の見え方への影響は、標準等視力曲線図において、背景輝度及び輝度対比の変化として取扱う。即ち、高輝度光源に基づく光幕光輝度が、視対象の元の輝度に重なったと考える。
- (4) 一般の視対象となる文字は、見え方が等価なランドルト視環に置き換える。その他の視対象物についても視認を必要とする細部が占める視角から、等価なランドルト視環に置換する。
- (5) 視対象が特定できない一般事務室などの照明設計では、最も一般的な視対象物と考えられる評価用標準視標（中質紙に8ボ明朝体活字、黒インクで印刷した文章又は8画漢字）を対象として照明設計する。
- (6) 光源の取付け位置、光源の配光特性等を定める。
- (7) 光源の状態、視対象物の反射特性値、視線の方向（視作業角は30°とする）から視作業位置における視対象物の背景輝度、輝度対比を求める。
- (8) 上記の背景輝度、輝度対比に光幕光による被りを加

えて、視対象物の見かけの背景輝度、見かけの輝度対比を求める。

- (9) 視対象に等価なランドルト視環が、上記の見かけの輝度対比であるとき視認閾値になる背景輝度を標準等視力曲線図上で求め、その背景輝度を基準としたとき、上記の見かけの背景輝度が占める倍率を(5)式に代入すると見易さ評価点を得られる。
- (10) 得られた見易さ評価点が目標値と異なる場合は、光源の配光特性が著しく異ならない状態で光源の光束を増減して、所定の見易さ評価値が得られるように調整する。

以上の成果に基づいて、質的な明視照明設計を具体的に試み、従来の照度に基づく照明設計法に対して、照明の質を考慮した省エネルギー照明設計が行えることを示した。

謝 辞

一連の本研究を進めるに当り、終始御指導、御援助、御鞭撻を賜った大阪大学伊藤克三教授に対し感謝の意を表します。

また貴重な御助言、御援助を戴いた大阪市立大学住居機構学教室の諸先生、諸氏に対し深謝致します。

更に、本研究の経過をしばしば発表する機会を与えて戴き、また有益な御意見を御聴かせ下さった建築学会近畿支部環境工学委員会光環境部会の各委員に感謝致します。

更に卒業研究などとして筆者とともに本研究に携わり、多大の助力を与えられた諸氏、及び被験者として御協力戴いた諸氏に対して謝意を表します。

文 献

- 1) 照明学会編：屋内照明のガイド、電気書院、1978.5。
- 2) 照明学会編：照明ハンドブック、オーム社、1978.5。
- 3) 中根芳一・伊藤克三：明視照明のための標準等視力曲線に関する研究、日本建築学会論文報告集、229、1975.3。
- Y. Nakane & K. Ito: Study on Standard Visual Acuity Curves for Better Seeing in Lighting Design, J. of Light & Visual Environment, 2-1, Illum. Engng. Inst. Japan. 1978。
- 4) 中根芳一：印刷文字の見易さ及び適正照度に関する研究、日本建築学会論文報告集、229、1975.3。
- 5) W. Allphin: Sight Lines to Desk Tasks in Schools and Offices, Trans. Illum. Engng. Soc. H. R. Blackwell: Evaluating the Visual Signi-

- fificance of Reflected Glare, Illum. Engng., 1963.4.
- C. L. Crouch & J. E. Kaufman: Practical Application of Polarization and Light Control for Reduction of Reflected Glare, Illum. Engng., 1963.4, IES.
- 6) 中根芳一: 見易い照明のための基礎研究 — その6, 印刷物の反射特性及び標準視作業に関する考察一, 大阪市立大学生活科学部紀要, **26**, 1978.
- 7) 中根芳一, 伊藤克三: 中心窩における光幕光量に関する研究II—高輝度光源が視認閾値に及ぼす影響に基づく検討—, 建築学会論文報告集, **285**, 1979.11.
- 8) 中根芳一, 土井 正: 中心窩における光幕光量に関する研究—その1, 摘出した牛の眼球による測定結果からの検討—, 日本建築学会論文報告集, **272**, 1978.10.
- 9) 伊藤克三, 中根芳一: 不均一な背景輝度が見易さに及ぼす影響について, 建築学会大会学術講演梗概集, 1969.8.
- 伊藤克三, 中根芳一: 不均一な背景輝度が見易さに及ぼす影響について(その2), 建築学会大会学術講演梗概集, 1971.11.
- 10) 中根芳一: 明視照明の質的設計について, 電気関係学会関西支部連合大会講演論文集, 1979.11.
- 11) 安富重文: 照明計画と省エネルギー, 空気調和・衛生工学, Vol. **49**, **11**, 1975
- 12) 建築学会編: 照明設計, 彰国社, 1975.9.
- 13) 中根芳一, 藤井勢津子, 今井英津子: 見やすい照明のための基礎研究(その7), 一視作業性に基づく明視照明の評価に関する検討—, 大阪市立大学生活科学部紀要, **26**, 1978.

(昭和55年11月13日受理)

Summary

Based on the "Fundamental Study on Lighting for Better Seeing" which I have conducted previously, I have examined the method of designing on the task lighting environment of better quality from the viewpoint of better seeing of visual objects.

As a result, it is revealed that the qualitative improvement of lighting for better seeing can be realized by the following method.

(1) The basis will be the standard visual acuity curves, which show the relationships of three factors related to visual perception: Size of visual object, contrast, and background luminance, in threshold conditions (Fig. 5).

(2) When background luminance is not uniform, it will be adjusted to achieve the same visual easiness as in the case where uniform background luminance exists (Fig. 7).

(3) The influence of high-luminance light source to the visual perception threshold will be expressed on the standard visual acuity curves as changes in background luminance and contrast. To put it differently, the luminance of veiling light based on high-luminance light source is considered to have overlapped the original luminance of the visual object. (Fig. 6).

(4) Letters — generally found visual objects — will be replaced with Landolt's Ring visual targets which have equal visual perception thresholds. Other visual objects shall also be substituted for equivalent Landolt's Ring visual targets, in accordance with the visual angle occupied by detailed parts which require visual perception (Fig. 4).

(5) In designing lighting for general offices where visual objects cannot be specified, the standard visual evaluation chart (sentences or 8-stroke Chinese characters printed in black ink using 8-point Ming-style type on medium-quality paper), which is considered the most ordinary visual object, will be used for the evaluation of the lighting designed room.

(6) Installation position and luminous distribution characteristics of the light source will be determined.

(7) The background luminance and contrast of the visual object in the visual work position will be determined from the condition of light source, the reflection factor of the visual object, and angle of visual line (tilt angle 30° for visual object) (Fig. 3).

(8) The apparent background luminance and contrast of the visual object will be obtained, by adding the veil caused by the veiling light to the above-mentioned background luminance and contrast.

(9) On the standard visual acuity curve, the background luminance will be determined at which the Landolt's Ring visual targets equivalent to the visual object reach the visual perception threshold, given the above-mentioned apparent contrast. The visual easiness evaluation value can then be obtained on the equation (5), by substituting the magnifying power of the above-mentioned apparent background luminance by the standard of that background luminance.

(10) If the visual easiness evaluation value differs from the target value, necessary adjustment will be made by increasing/decreasing luminous flux of the light source while preventing remarkable difference in the luminous distribution characteristics of the light source, so that the prescribed visual easiness evaluation value can be obtained.

Based on the findings described above, qualitative lighting design is tried for better seeing in the concrete room, and it is indicated that energy-saving lighting design with improved quality is possible, in contrast to the conventional lighting design on illuminance.